

5. Dienstgüte in ATM-Netzen

Da ATM ein statistisches Multiplexverfahren ist, gibt es keine feste Zuordnung eines Zeitkanals zu einer Quelle. Jede Quelle belegt so viele ATM-Zellen, wie sie gerade benötigt.

Als Folge können beim Multiplexen verschiedener Quellen Laufzeitschwankungen und evtl. Überläufe von Pufferspeichern vorkommen. Möglich wäre dies z.B., wenn Quellen zu viele ATM-Zellen in einem Link absetzen wollen.

Der Vorteil von ATM, die flexible Bandbreitenzuordnung, erfordert einen erhöhten Verwaltungsaufwand im Netzmanagement. So müssen beim Verbindungsaufbau (CAC) Verkehrsparameter wie Bandbreite mit Spitzenwerten zwischen dem Endgerät und dem Netzmanagement ausgehandelt werden. Traffic Control Functions (z.B. UPC) überwachen die Einhaltung der Parameter und müssen entsprechende Maßnahmen bei der Verletzung des Verkehrsvertrages einleiten, die von der Markierung (Prioritätsänderung) bis zum Verwurf dieser Zellen reichen können.

In Koppelfeldern der ATM-Vermittlungstechnik ist es notwendig, ATM-Zellen zwischenspeichern, um diese entsprechend ihren Headerinformationen auf den richtigen Ausgang zu v.ermitteln. Die Anzahl der zwischengespeicherten Zellen nimmt dabei mit steigender Verkehrslast zu, so daß die Laufzeit einer ATM-Zelle durch ein Koppelfeld entscheidend vom Lastzustand des gesamten Koppelfeldes abhängig ist. Laufzeiten eines Signals sind damit nicht mehr deterministisch vorhersagbar.

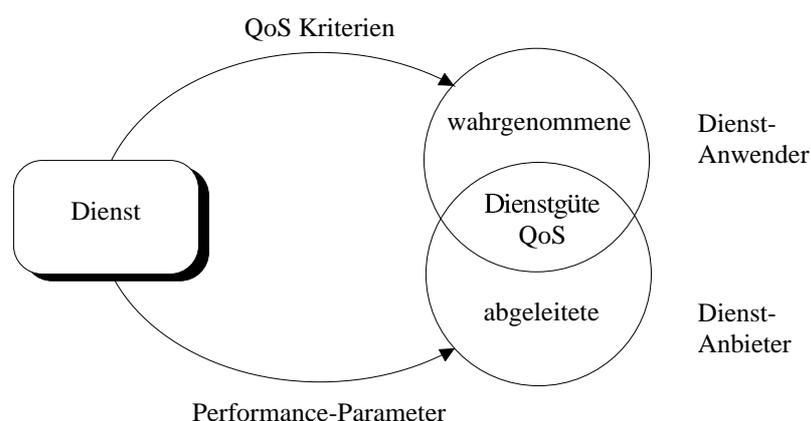


Abbildung 5.1: Abbildung von Performance-Parametern auf die Dienstgüte [DAT 10/93]

Desweiteren werden innerhalb von ATM-Netzen keine Fehlerkontrollen der Netzdaten (PL) sowie Flußkontrolle der Links durchgeführt. Diese Funktionen sind auf den Netzrand beschränkt.

Jeder Anwender hat bestimmte Erwartungen an die Dienstgüte, die ihm von einem Dienstanbieter bereitgestellt wird.

Der Begriff Dienstgüte umfaßt eine Vielzahl meist subjektiv empfundener Merkmale, wie z.B. Klangqualität, Reaktionszeit, Bildqualität u.ä..

Vom Dienstanbieter wird verlangt, daß er die von ihm garantierten Qualitätsmerkmale in einer dem Anwender verständlichen Form darstellt und nachweist. Der Einfluß objektiv meßbarer Parameter muß dazu auf die subjektive Größe "Dienstgüte" des jeweiligen Dienstes abgebildet werden, wie es in Abbildung 5.1 dargestellt ist.

Es ist z.B. möglich, daß eine relativ hohe Bitfehlerhäufigkeit (meßbarer Parameter) bei einem Sprachdienst zu erhöhten Nebengeräuschen führt und damit die Verständlichkeit (Dienstgüte) herabsetzt. Anderenfalls kann eine solche Fehlerrate bei einem Datendienst zum Totalausfall des Dienstes führen. Anders als der Sprachdienst, verträgt der Datendienst eine erheblich höhere Laufzeitschwankung (meßbarer Parameter). Bitfehlerrate und Laufzeit als objektiv meßbarer Parameter bekommen damit je nach Dienst eine unterschiedliche Bedeutung.

Es ist somit notwendig, für die Beschreibung und Einhaltung bestimmter Dienstgüten eine entsprechende Abbildung auf meßbare Performance- und charakteristische Verkehrsparameter herzustellen.

[DAT 10/93]

5.1. Physikalische Schicht

Auf Leitungs- und Transportebene sind Bitfehler und Bitslips die am häufigsten auftretenden Fehler. Als Qualitätsparameter werden aus diesen Ereignissen gestörte Sekunden und Blockfehlerhäufigkeiten abgeleitet. Als Netzperformance wird die Anzahl gestörter Sekunden je Betrachtungszeitraum definiert. Je nach Schwere der Störung gibt es:

- Errored Seconds (ES)
- Severely Errored Seconds (SES)
- Unavailable Seconds (US)

Die Erfassung und Behandlung dieser Parameter (z.B. Codefehler, etc.) sind bekannt und werden nicht näher behandelt.

Die Trennung zwischen Performance-Parametern der Transportschicht und der ATM-Schicht ist notwendig, da für die ATM-Technik eine Vielzahl verschiedener Transportnetze (PDH, SDH, Fiber Channel, etc.) eingesetzt werden kann.

5.2. ATM-Zellübertragungsereignisse

Um Dienste mit extrem unterschiedlichen Übertragunganforderungen (Echtzeit, Verzögerung, Fehler, etc.) nebeneinander übertragen zu können, werden jeder Verbindung im Rahmen ihres Aufbaus von der ATM-Schicht Service-Parameter zugeordnet, die bestimmte Eigenschaften der Verbindung spezifizieren.

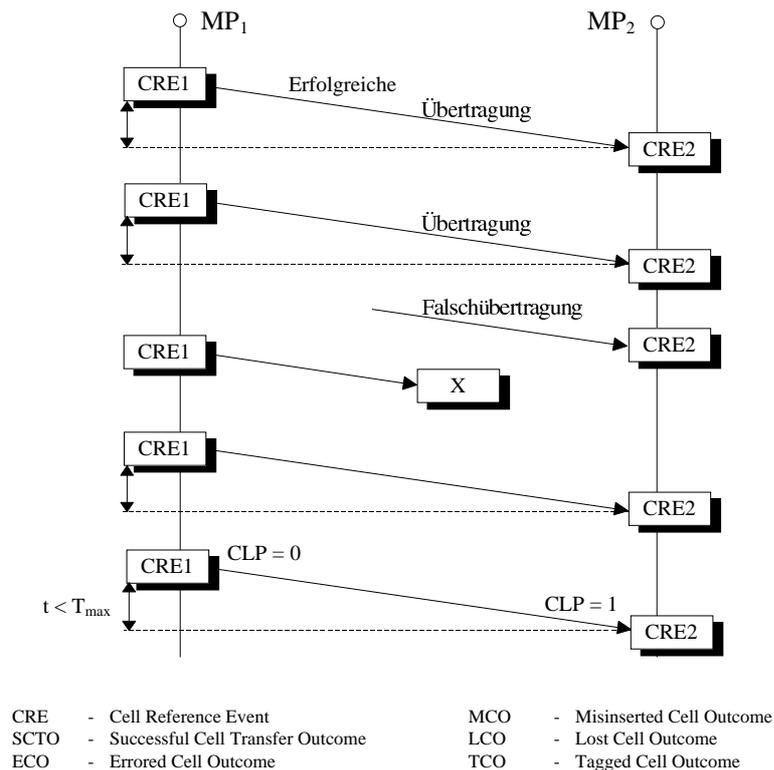


Abbildung 5.2: Ergebnisse von Zelltransporten [I.356]

Die Parameter werden dazu zellbasierend definiert und beziehen sich nur auf die benutzten Zellen einer virtuellen Verbindung (im Gegensatz zur Transportschicht, wo sich alle Parameter, unabhängig vom Inhalt, auf den Bitstrom beziehen).

Die Definition entsprechender Parameter erfolgt auf der Grundlage der möglichen Ergebnisse, die bei der Übertragung von ATM-Zellen auftreten können. Die Übertragung einer Zelle kann dabei erfolgreich, fehlerhaft mit einer Markierung (CLP) oder dem Verlust der Zelle enden. Desweiteren besteht die Möglichkeit, daß für eine empfangene Zelle keine entsprechende gesendete Zelle existiert, es also zu einer Zelleneinfügung gekommen ist. In Abbildung 5.2 sind die Definitionen der ITU (Empfehlung I.356) für die möglichen Übertragungsergebnisse dargestellt.

- SCTO (Successful Cell Transfer Outcome): Tritt ein, wenn die Übertragung in einer bestimmten Zeit T_{\max} erfolgt ist und sowohl das Informationsfeld als auch das Headerfeld unverfälscht sind.
- ECO (Errored Cell Outcome): Tritt ein, wenn die Übertragung in einer bestimmten Zeit T_{\max} erfolgt ist, aber
 1. das Informationsfeld einen oder mehrere Bitfehler aufweist oder
 2. das Headerfeld ungültig ist und durch die HEC-Procedure nicht korrigiert werden kann.
- TCO (Tagged Cell Outcome): Tritt ein, wenn die Übertragung in einer bestimmten Zeit T_{\max} erfolgt ist, wobei das empfangene Informationsfeld unverfälscht und das Kopffeld gültig ist, aber ein Wechsel der Zellenverlustriorität (CLP) stattgefunden hat (MP_1 : CLP=0, MP_2 : CLP=1). Eine markierte Zelle mit einem Fehler im Informationsfeld entspricht einem ECO.
- MCO (Misinserted Cell Outcome): Tritt ein, wenn zu einer empfangenen Zelle keine entsprechende gesendete Zelle existiert
- LCO (Lost Cell Outcome): Tritt ein, wenn die Übertragung innerhalb einer festgelegten Zeit T_{\max} mißlingt, wobei
 1. $T > T_{\max}$ oder
 2. $T \rightarrow \infty$.

Ein weiteres von der ITU definiertes mögliches Übertragungsergebnis ist das des schwerwiegenden Zellblock-Fehlers (SECB).

Ein Zellblock ist eine Sequenz von N aufeinanderfolgend übertragenen Zellen einer gegebenen Verbindung. Ein SECB-Ereignis tritt ein, wenn mehr als M fehlerhafte, verlorene oder eingefügte Zellen in dem empfangenen Zellblock auftreten.

PCR (Zellen/s)	User Information Rate in Mbit/s	N (Blockgröße)	M (Schwelle)
$0 < x \leq 3200$	$0 < y \leq 1.23$	128	4
$3200 < x \leq 6400$	$1.23 < y \leq 2.46$	256	8
$6400 < x \leq 12800$	$2.46 < y \leq 4.92$	512	16
$12800 < x \leq 25600$	$4.92 < y \leq 9.83$	1024	32
$25600 < x \leq 51200$	$9.83 < y \leq 19.66$	2048	64
$51200 < x \leq 102400$	$19.66 < y \leq 39.32$	4096	128
$102400 < x \leq 204800$	$39.32 < y \leq 78.64$	8192	256
$204800 < x \leq 409600$	$78.64 < y \leq 157.29$	16384	512
$409600 < x \leq 819200$	$157.29 < y \leq 314.57$	32768	1024

Tabelle 5.1: Berechnung von Zellblockgrößen und SECB-Schwellen verschiedener PCR [L356]

Der Wert von N wird einmalig durch die PCR des gesamten Zellflusses ($CLP = 0 + 1$) bestimmt und so festgelegt, daß zwischen 12.5 und 25 Zellblöcke je Sekunde übertragen werden. $N = \frac{PCR}{25}$, wobei N auf die nächst größere Potenz von 2 gerundet wird. Zellblöcke, deren Größe kleiner 128 und größer 32 768 Zellen ist, sind zukünftigen Studien überlassen. Der Wert von M ist durch die ITU mit $1/32$ von N festgelegt.

In Tabelle 5.1 sind die Berechnungen der Zellblockgröße und die Schwelle für das Auftreten eines SECB-Ereignisses für verschiedene PCR dargestellt.

[TEL 01/96; I.356; KYA 01/96; DAT 10/93]

5.3. ATM-Performance-Parameter

Auf der Grundlage der im Abschnitt 5.2 definierten Übertragungsergebnisse, wurden in der ITU I.356 die folgenden Zellübertragungs-Leistungsparameter festgelegt, von denen drei für die Benutzung als Serviceparameter vorgesehen sind (siehe Abs.5.4).

- Blockfehlerhäufigkeit (SECBR)

ist das Verhältnis der fehlerhaften Zellblöcke zu den insgesamt übertragenen Zellblöcken. Für praktische Messungen kann ein Zellblock (neben der im Abschnitt 5.2 gültigen Berechnungsmethode) auch als die Anzahl belegter Zellen zwischen zwei OAM-Zellen (OAM - Operation and Maintenance) definiert werden.

- Zellfehlerrate (CER)

gibt das Verhältnis der fehlerhaften Zellen zu den insgesamt übertragenen Zellen an. Fehlerhafte Zellen weisen einen einzelnen Bitfehler im Zellheader bzw. Bitfehler in der Zellpayload auf.

- Zellverlustrate (CLR)

gibt das Verhältnis der verlorenen Zellen zu den insgesamt übertragenen Zellen an. Zellverlust wird immer für eine spezielle virtuelle Verbindung (VPC/VCC) angegeben, wobei verlorene Zellen, die in einem SECB auftreten, nicht gezählt werden. Ursachen für CLR sind in Bitfehlern im Zellkopf zu suchen. Da nur eine begrenzte Fehlerkorrekturfähigkeit vorgesehen ist, werden nicht eindeutig vermittelbare Zellen verworfen, so daß bei der Übertragung Daten verloren gehen.

Auftretende Zellverluste, die auf das Ansprechen von Policing-Funktionen und dem somit bewußten Verwerfen von Zellen zurückzuführen sind, werden ebenfalls bei der

Berechnung der CLR nicht berücksichtigt, da diese Ergebnisse auf das Fehlverhalten von Endgeräten und nicht auf das Netz selbst zurückzuführen sind. Es werden deshalb 3 spezielle Fälle unterschieden.

1. CLR₀ - CLR für Zellen mit hoher Priorität

$$\text{CLR} = \frac{\text{Anzahl der Zellverlustereignisse CLP} + \text{Anzahl der Zellmarkierungsereignisse CLP}}{\text{Anzahl der übertragenen Zellen mit CLP} = 0}$$

- CLR für den gesamten Zellenstrom

$$\text{CLR} = \frac{\text{Anzahl der Zellverlustereignisse CLP}}{\text{Anzahl der übertragenen Zellen mit CLP} = 0 \text{ und CLP} = 1}$$

- CLR für Zellen mit niedriger Priorität

$$\text{CLR} = \frac{\text{Anzahl der Zellverlustereignisse CLP}}{\text{Anzahl der übertragenen Zellen mit CLP} = 1}$$

Zelleneinfüßungsrate (CMR)

gibt die Anzahl fehlerhaft eingefügten Zellen pro Sekunde an. Diese Fehler können entstehen, wenn durch einen Bitfehler im Zellheader ein anderer gültiger Header imitiert wird.

- Zellenlaufzeit (CTD)

ist die Zeit ($t_2 - t_1$), die zwischen den Ereignissen von zwei korrespondierenden Zellübertragungsereignissen liegt, wobei $t_2 > t_1$ und $t_2 - t_1 \leq T_{\max}$ ist.

Die Gesamtlaufzeit einer ATM-Zelle addiert sich dabei aus verschiedenen Laufzeitkomponenten, die entweder konstant sind oder von der Verkehrslast und dem momentanen Zustand eines Netzelements abhängen. Die mittlere Laufzeit ist das arithmetische Mittel über eine Anzahl einzelner Laufzeitwerte.

- Zellenlaufzeitschwankung (CDV)

Während das ATM-Netz selbst grundsätzlich unempfindlich gegenüber Laufzeitschwankungen ist, können ATM-Endgeräte auf zu hohe Laufzeitschwankungen mit ernsthaften Synchronisationsproblemen reagieren, wenn sie einen konstanten Zeitstrom erwarten. ATM-Netzelemente sollten deshalb möglichst keine zusätzlichen CDV auf eine virtuelle Verbindung addieren.

In der Empfehlung I.356 der ITU werden zwei mögliche Leistungsparameter unterschieden:

- Einpunkt-Übertragungszeitschwankung (1-point-CDV)
- Zweipunkt-Übertragungszeitschwankung (2-point-CDV)

1. Einpunkt-Übertragungszeitschwankung

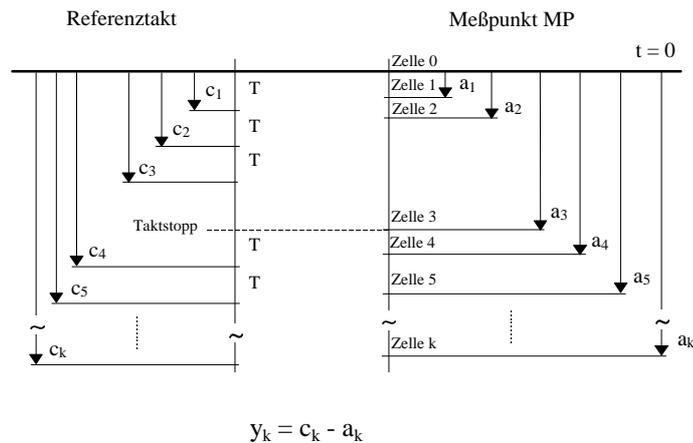


Abbildung 5.3: Einpunkt-Übertragungsverzögerungszeitschwankung [I.356]

Die Einpunkt-Übertragungszeitschwankung beruht auf der Überwachung einer Sequenz von aufeinanderfolgenden Zellankünften an einem Einzelmeßpunkt und beschreibt die Variabilität in den Mustern von Zellankunftsereignissen, die durch die Quelle und die anwachsenden Effekte der Variabilität zwischen Quelle und Meßpunkt verursacht werden. Die Einpunkt-Übertragungszeitschwankung (y_k) für die Zelle k am Meßpunkt MP ist definiert als die Differenz zwischen einem Referenz-Ankunftsabstand (c_k), an dem die Zelle erwartet wird und der tatsächlichen Ankunftszeit (a_k) der Zelle k .

$$y_k = c_k - a_k \quad (1)$$

Die Bestimmung der Referenzankunftszeiten geschieht wie folgt:

$$c_0 = a_0 = 0 \quad (2)$$

$$c_{k+1} \begin{cases} c_{k+1} = c_k + T & \text{falls } c_k \geq a_k \\ c_{k+1} = a_k + T & \text{sonst.} \end{cases}$$

T ist dabei ein Referenzabstand, der sich aus dem Kehrwert der Spitzenzellrate der Quelle ergibt. Positive Werte der 1-point-CDV bedeutet eine zu "frühe" Ankunftszeit und führen zum "cell clumping". Negative Werte der 1-point-CDV bedeuten eine zu "späte" Ankunftszeit und führen zu Lücken im Zellstrom.

In Abbildung 5.3 ist das Prinzip der 1-point-CDV dargestellt.

2. Zweipunkt-Übertragungszeitschwankung

Die 2-point-CDV beruht auf der Überwachung von einander entsprechenden (korrespondierender) Zellankünfte an zwei Meßpunkten, durch die Messung der absoluten Laufzeit einzelner Zellen und beschreibt die Variabilität in den Mustern von Zellankünften zwischen dem Ein- und Ausgang der Verbindungsteilstrecke (MP₁, MP₂). Diese Laufzeitschwankung ist unabhängig von der Charakteristik der sendenden Quelle und isoliert somit die Laufzeitcharakteristik zwischen den zwei Meßpunkten. Sie kann damit auch Aufschluß über den Füllstand von Zellenspeichern und indirekt über den Lastzustand eines Netzabschnittes geben.

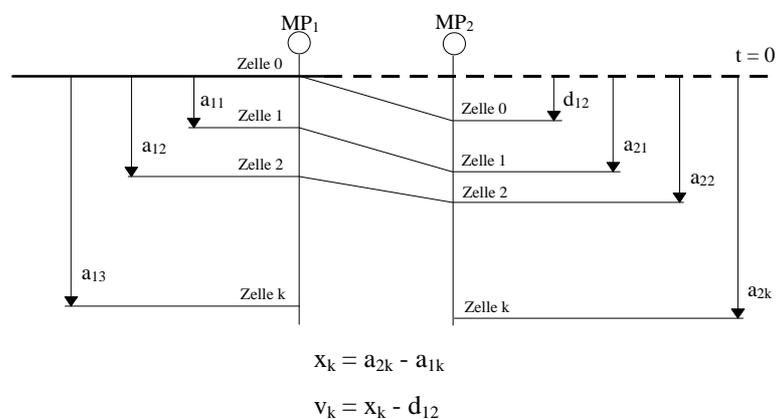


Abbildung 5.4: Zweipunkt-Übertragungsverzögerungszeitschwankung [I.356]

Die Zweipunkt-Übertragungszeitschwankung (v_k) für eine Zelle k zwischen MP₁ und MP₂ ist die Differenz zwischen der tatsächlichen Übertragungsverzögerung (x_k) und einer Referenz-Übertragungsverzögerung ($d_{1,2}$).

$$v_k = x_k - d_{1,2} \quad (3)$$

Die tatsächliche Übertragungsverzögerung (x_k) berechnet sich aus den Zellankunftszeiten an den Meßpunkten MP₁ (a_{1k}) und MP₂ (a_{2k}).

$$x_k = a_{2k} - a_{1k} \quad (4)$$

Die Referenz-Übertragungsverzögerung ($d_{1,2}$) wird durch die Zelle 0 festgelegt.

In der Abbildung 5.4 ist das Prinzip der 2-point-CDV dargestellt.

5.4. Serviceparameter - Definition von QoS-Parametern

Jeder Verbindung werden im Rahmen ihres Aufbaus von der ATM-Schicht Serviceparameter zugeordnet, die die festgelegte Eigenschaften der Verbindung spezifizieren, um den unterschiedlichsten Anforderungen gerecht zu werden.

Von dem im Abschnitt 5.3 definierten ATM-Leistungsparameter, sind die folgenden als Serviceparameter vorgesehen:

- Zellverlustrate
- Zellverzögerungsrate
- Zellverzögerungsschwankung

Jeder Benutzer kann damit beim Verbindungsaufbau im Rahmen des Netzlastabkommens (Traffic Contract) für jede Übertragungsrichtung eine bestimmte QoS-Klasse anfordern. Nach Abschluß des Netzlastabkommens garantiert die Netzwerkseite zwischen den Verbindungsendpunkten die vereinbarten Serviceparameter, solange die Benutzer den Verkehrsvertrag einhalten. Dazu werden QoS-Klassen mit definierten Leistungsparametern und QoS-Klassen ohne Leistungsparameter unterschieden.

B-ISDN Service Klassen	
Service Klasse A	Standleitungsservice, Video mit konstanter Bitrate
Service Klasse B	Audio und Video mit variabler Bitrate
Service Klasse C	Verbindungsorientierte Datenübertragung
Service Klasse D	Verbindungslose Datenübertragung
Quality of Service Klassen	
QoS-Klasse 1	QoS für Anforderungen von Klasse-A-Anwendungen
QoS-Klasse 2	QoS für Anforderungen von Klasse-B-Anwendungen
QoS-Klasse 3	QoS für Anforderungen von Klasse-C-Anwendungen
QoS-Klasse 4	QoS für Anforderungen von Klasse-D-Anwendungen

Tabelle 5.2: Serviceklassen von B-ISDN und QoS

Für QoS-Klassen mit definierten Leistungsparametern müssen mindestens zwei Parameter spezifiziert werden, wobei die Möglichkeit besteht, für die Zellverlustrate zwischen Zellen mit hoher und niedriger Priorität zu unterscheiden. Die Spezifizierung einer QoS-Klasse kann z.B. in der folgenden Art beschrieben werden:

- durchschnittliche Zellverzögerung
- Schwankung der durchschnittlichen Zellverzögerung

- Zellverlustrate für Zellen mit CLP = 0
- Zellverlustrate für Zellen mit CLP = 0 + 1

Jeder in der ITU-Empfehlung I.362 definierten Service-Klasse ist eine entsprechende QoS-Klasse zugeordnet.

In der Empfehlung I.356 Draft 05/96 ist eine QoS-Klassen-Definition mit provisorischen Werten (da die Auswertung realer Ergebnisse und Erfahrungen zur Festlegung entsprechender Parameterwerte noch aussteht) für Leistungsparameter, und damit auch für die Serviceparameter, angegeben.

QoS	Leistungsparameter						
	Serviceparameter				CER	CMR	SECBR
	CTD	2-Pkt.-CDV	CLR ₀₊₁	CLR ₀			
Klasse 1	400 ms	3 ms	3*10 ⁻⁷	keine	4*10 ⁻⁶	1/Tag	10 ⁻⁴
Klasse 2	u	u	u	keine	4*10 ⁻⁶	1/Tag	10 ⁻⁴
Klasse 3	u	u	u	10 ⁻⁵	4*10 ⁻⁶	1/Tag	10 ⁻⁴
Klasse 4	u	u	u	u	u	u	u

- alle Werte verstehen sich als oberer Grenzwert
- u: nicht spezifiziert

Tabelle 5.3: Vorübergehende QoS-Klassen-Definition und Netzperformance-Ziele [I.356]

Eine QoS-Klasse ohne Leistungsparameter wäre z.B. eine Anforderung mit “bestmöglichen Netzleistungsparametern“. Dabei entfällt die Angabe bestimmter Netzleistungsparameter, so daß die Höhe der Belastung sowie die Fehlerhäufigkeit in ATM-Netzwerken einen direkten Einfluß auf die QoS-Parameter haben.

Die Traffic Management Specification TM 4.0 des ATM-Forums geht von der Definition der QoS-Klassen ab und erlaubt eine freizügigere Definition von QoS-Parametern, wobei die Freizügigkeit durch die jeweilige Dienstkategorie beschränkt ist. Als Dienstkategorie werden unterschieden:

- Constant Bit Rate (CBR) Service Category,
- Real-Time Variable Bit Rate (RT-VBR) Service Category,
- Non-Real-Time Variable Bit Rate (NRT-VBR) Service Category,
- Unspecified Bit Rate (UBR) Service Category und
- Available Bit Rate (ABR) Service Category.

Die Dienstkategorien werden durch zugehörige Verkehrs- und Dienstgüteattribute eindeutig beschrieben.

Attribute	ATM Service Categories				
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
PCR and CDVT	specified			specified	specified
SCR, MBS, CDVT	n/a	specified		n/a	
MCR	n/a			n/a	specified
ppCDV	specified	specified	unspecified	unspecified	unspecified
Mean CTD	unspecified	unspecified	specified	unspecified	unspecified
Maximum CTD	specified	specified		unspecified	unspecified
CLR	specified			unspecified	specified
Feedback	unspecified			unspecified	specified

Tabelle 5.4: Attribute der ATM Dienstkategorien [UNI 4.0]

Wertebereich, Granularität und erlaubte Kombinationen der Attribute sind in der Traffic Management Specification TM 4.0 beschrieben.

Der Mechanismus, mit dem die Dienstkategorie zwischen dem Endgerät und dem Netzbetreiber verhandelt wird, ist in den Spezifikationen UNI 4.0 und PNNI 1.0 definiert und ergänzt die QoS-Klassen-Prozedur der Spezifikation UNI 3.1 und der ITU-Empfehlung I.356.